



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**SNÍŽENÍ ENERGETICKÉ ZÁVISLOSTI PANELOVÉHO  
DOMU**

REDUCING ENERGY DEPENDENCE OF BLOCK OF FLATS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Patrik Bouchal**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.**

**BRNO 2018**



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Patrik Bouchal**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Snížení energetické závislosti panelového domu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Řada panelových domů prošla v uplynulých letech rekonstrukcí, jejímž cílem bylo snížit energetickou náročnost domu, zejména v oblasti vytápění. Provedená opatření ve většině případů vyčerpala stavební možnosti pro snižování energetické náročnosti objektu a je tedy otázkou, zdali je možné provozní náklady domu i nadále snižovat, např. "samovýrobou" tepelné či elektrické energie, čímž by se snížila závislost na externích dodavatelích.

### Cíle bakalářské práce:

Pro konkrétní panelový dům provést návrh a ekonomické zhodnocení opatření, která by snižovala závislost na externích dodavatelích energií.

### Seznam doporučené literatury:

MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. Fotovoltaika, elektřina ze slunce. Brno: ERA, 2007. ISBN 80-7366-100-4.

BÖSE, Karl-Heinz. Dešťová voda pro dům a zahradu. Ostrava: HEL, 1999. ISBN 80-86167-08-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřená na posouzení energetické soběstačnosti panelového domu. Úvodní část pojednává o panelovém domě samotném. V druhé části je zevrubně projednáno, zda na střechu domu dopadne dostatek srážkových vod a jejich další využití v domě. Třetí část se zabývá využitím fotovoltaických panelů.

## Klíčová slova

energetické úspory, regenerace panelových domů, energetická soběstačnost

## Abstract

Bachelor thesis is focused on the assessment of energy self-sufficiency of block of flats. The introductory part deals with the block of flats itself. In the second part, it is thoroughly discussed whether there is sufficient amount of rainwater falling on the roof of the house and its further use. The third part deals with the use of photovoltaic panels.

## Keywords

energy savings, regeneration of block of flats, energy self-sufficiency

## Bibliografická citace

BOUCHAL, P. *Snížení energetické závislosti panelového domu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Snížení energetické závislosti panelového domu* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Hejčíka, Ph.D., s použitím materiálů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Patrik Bouchal

.....

Datum

.....

Podpis

## Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D. za odborné rady, cenné připomínky a čas věnovaný konzultacím.

## Obsah

Úvod .....	10
1 Popis objektu .....	11
Připojení na vodovodní síť a odběr tepla .....	11
2 Využití dešťové vody .....	12
2.1 Spotřeba vody .....	12
2.2 Výpočet srážek .....	13
2.2.1 Úhrn srážek. ....	13
2.2.2 Obsah sběrné plochy .....	15
2.2.3 Koeficient odtoku .....	15
2.2.4 Využitelný objem srážek .....	15
2.3 Systém akumulace dešťové vody .....	17
2.3.1 Akumulační nádrž .....	18
2.3.2 Systém filtrace .....	19
2.3.3 Doplnování vody .....	20
2.4 Výhodnost využití dešťové vody .....	21
3 Využití solární energie .....	22
3.1 Princip Fotovoltaických článků .....	22
3.2 Typy křemíkových fotovoltaických článků .....	23
3.2.1 Články z monokrystalického křemíku .....	24
3.2.2 Články z polykrystalického křemíku .....	25
3.2.3 Články z amorfního křemíku .....	25
3.3 Umístění fotovoltaických panelů .....	25
3.4 Zisk elektrické energie .....	27
3.5 Možnosti využití elektrické energie .....	29



3.6	Výhodnost využití solární energie .....	32
	Závěr.....	33
	Seznam použitých zdrojů .....	34
	Seznam použitých symbolů.....	36
	Seznam zkratek .....	36

## Úvod

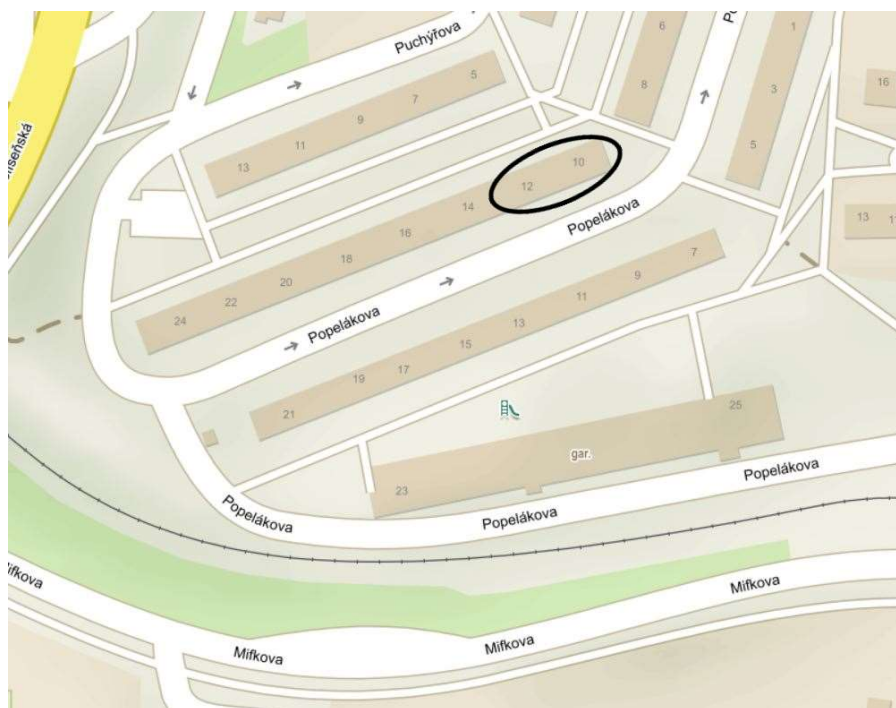
Se zvyšujícími se náklady na energie stále více domácností hledá úsporná opatření, která by tyto náklady snižovala. Nejčastěji tedy dochází k využívání slunečního záření k získávání elektrické energie. Zvyšuje se také počet tepelných čerpadel, kterými domácnosti snižují náklady na vytápění nebo ohřev teplé vody. A v neposlední řadě se do domů instalují systémy pro využití dešťové vody, ta nahrazuje pitnou vodu například při zalévání zahrady, ale také často při splachování a praní prádla.

Ačkoliv k realizaci takových projektů dochází především na rodinných domech, panelové domy trápí stejný problém se zvyšujícími se cenami energií, ty jsou navíc často odkázané na centrálního dodavatele např. tepla. Občas tak člověk uvidí např. fotovoltaické články nainstalované na fasádě nebo střeše panelového domu. Dochází také k montáži tepelných čerpadel a systémů rekuperace tepla.

Cílem této práce je snížení energetické náročnosti běžného panelového domu s důrazem na využití dešťové vody a fotovoltaických panelů. Práce je koncipována do tří částí. V první části je stručně popsán konkrétní panelový dům, o kterém bakalářská práce pojednává. Druhá část je věnována dešťové vodě a možnostem jejího využití. Třetí část pojednává o solární energii a způsobech jejího využití k výrobě elektřiny pomocí fotovoltaických panelů.

## 1 Popis objektu

Jedná se o panelový dům vystavěný roku 1981 v ulici Popelákova (č.p. 10, 12), Brno-Líšeň. Objekt má dva vchody, každý o čtyřech nadzemních podlažích bytových prostor a suterénu, kde se nachází garsoniéra a nebytové prostory (kočárkárna, kolárna, sušárna, sklepní kóje). Dům má celkově 26 bytových jednotek a plocha jeho střechy je 525 m<sup>2</sup>.



Obr. 1.1 Situační plán [1]

### Připojení na vodovodní síť a odběr tepla

Objekt je připojen na vodovodní síť Brněnských vodáren a kanalizací, od nichž odebírá pitnou vodu. Srážkové vody odtékají do nedaleké retenční nádrže a jsou tedy nevyužité. Teplo a teplá voda (TV) jsou dodávány společností Teplárny Brno.

## 2 Využití dešťové vody

Jak již bylo zmíněno, srážkové vody odtékají nevyužité do retenční nádrže. Je tedy na místě zjistit, zda by se daly nějak využít.

Dešťová voda může v domácnosti částečně nahradit vodu pitnou – a tím snížit stále se zvyšující náklady na pitnou vodu<sup>1</sup> – především tam, kde není kladen takový důraz na kvalitu vody. Například tedy na uklízení, splachování, zalévání zahrady a je-li voda dostatečně přefiltrována i na praní. V následujících částech bude rozebráno pouze využití na splachování, jelikož zkoumaný objekt nemá zahradu.

### 2.1 Spotřeba vody

V každém vchodě se nachází 8 bytů 4+1 a 5 garsoniér. Při počtu 4 osob na byt 4+1 a 2 osoby na garsoniéru připadá na jeden vchod 42 osob, v celém domě tedy bydlí 84 osob.

Denní spotřeba vody na splachování toalety činí

1. 45 l osoba/den u starých splachovačů
2. 20 l osoba/den u nových splachovačů [2]

Dále bude uvažováno, že v každém bytě je v rámci úspor vody nainstalován nový splachovač. Z čehož vyplývá denní spotřeba vody 20 l/osoba.

Denní spotřeba vody na splachování ve zkoumaném objektu je tedy:

$$20 \times 84 = 1\,680 \text{ l/den} = 1,68 \text{ m}^3/\text{den}$$

Při známé denní spotřebě vody na splachování v celém objektu lze již snadno vypočítat spotřebu roční:

$$1\,680 \times 365 = 613\,200 \text{ l/rok} = 613,2 \text{ m}^3/\text{rok}$$

---

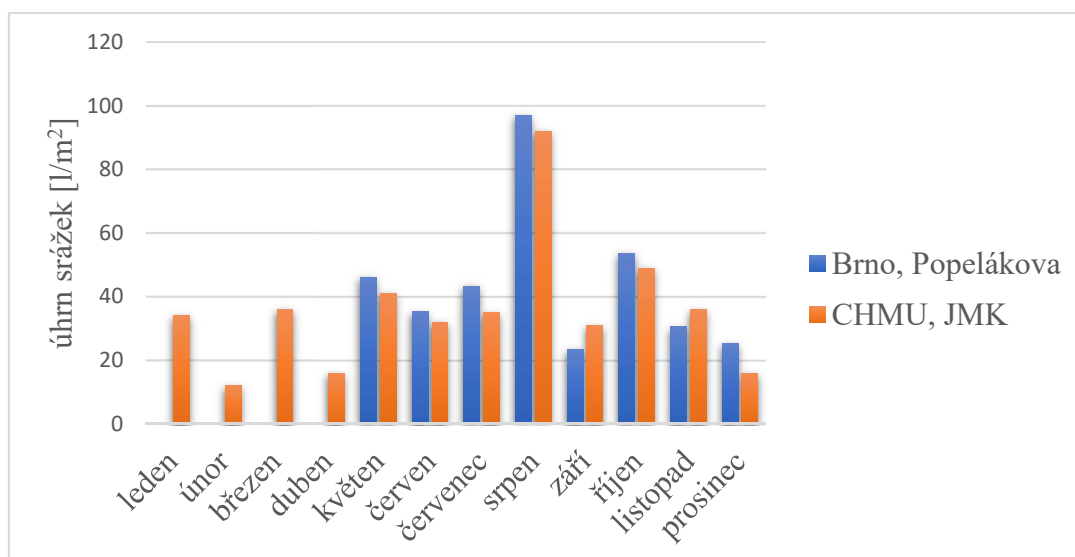
<sup>1</sup> Podle údajů na webových stránkách Brněnských vodáren a kanalizací byla v roce 2005 cena za 1 m<sup>3</sup> studené vody včetně stočného 48,79 Kč. V roce 2017 to už bylo 75,74 Kč [11]. U zkoumaného objektu to při průměrné roční spotřebě studené vody 1370 m<sup>3</sup> činí rozdíl 37 000 Kč.

## 2.2 Výpočet srážek

Pro výpočet množství srážek, které dopadnou na sběrnou plochu objektu – v tomto případě střecha domu – je potřeba znát úhrn srážek, rozměr (obsah) sběrné plochy a v neposlední řadě koeficient odtoku<sup>2</sup> pro danou sběrnou plochu.

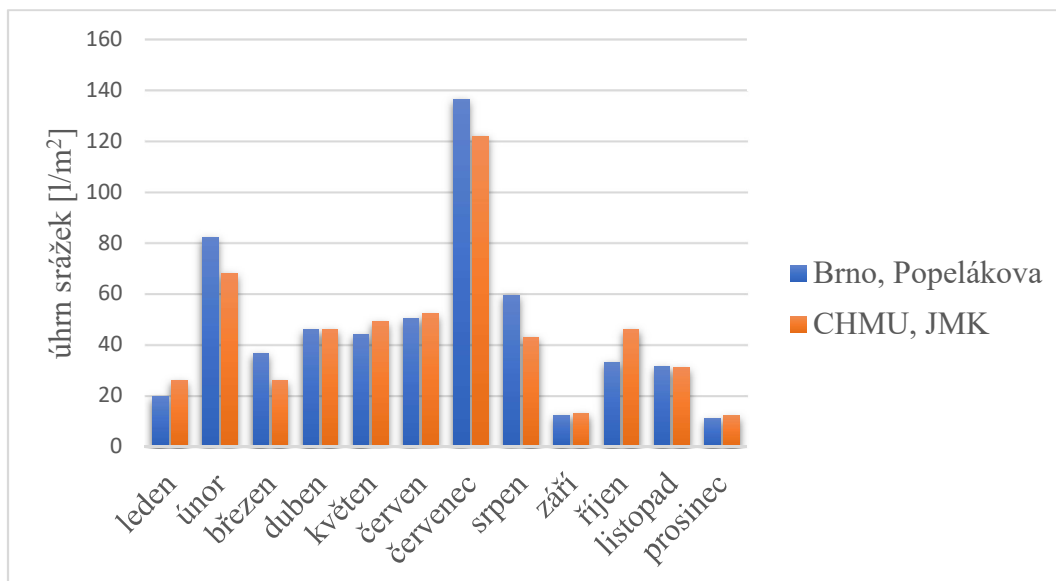
### 2.2.1 Úhrn srážek.

Pro měření úhrnu srážek byl použit osobní srážkoměr nainstalovaný přímo na domě a data z něj jsou sbírána od května roku 2015. V následujících grafech jsou data ze srážkoměru na domě v ul. Popelákova doplněna o data Českého hydrometeorologického úřadu pro Jihomoravský kraj. [3]

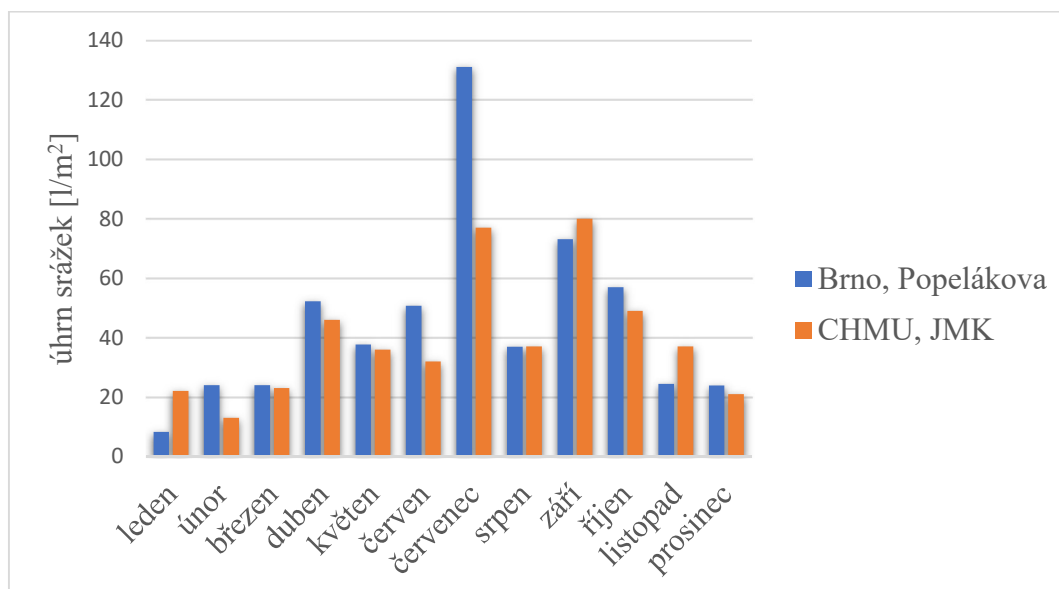


Obr. 2.1 Měsíční úhrn srážek za rok 2015

<sup>2</sup> Poměr mezi množstvím deště, které odtéká do zásobníku a množstvím deště dopadajícím na střechu [2]



Obr. 2.2 Měsíční úhrn srážek za rok 2016

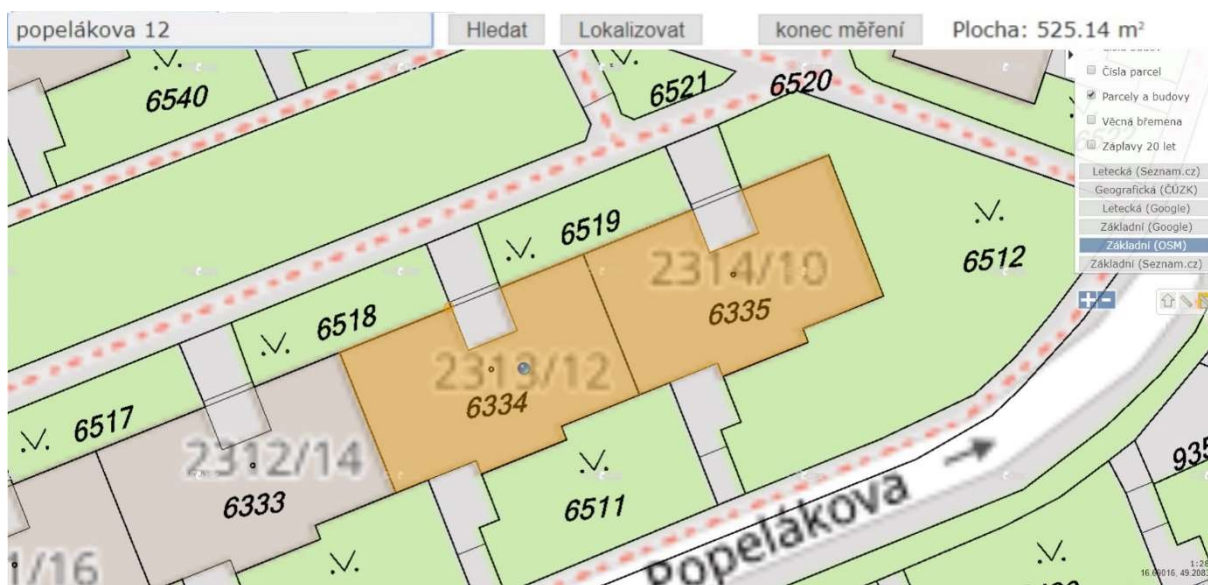


Obr. 2.3 Měsíční úhrn srážek za rok 2017

Z těchto obrázků je patrné, že mezi daty z jednotlivých stanic nejsou výrazné rozdíly. Lze předpokládat, že srážkoměr umístěný přímo na objektu bude mít pro tuto práci větší vypovídající hodnotu. V následujících částech se již bude počítat s daty ze srážkoměru umístěného na zkoumaném objektu.

### 2.2.2 Obsah sběrné plochy

Obsah sběrné plochy byl změřen na mapě dostupné na internetových stránkách Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního (ČÚZK). Pomocí nástroje této mapy byl určen obsah plochy 525 m<sup>2</sup>.



Obr. 2.4 Měření sběrné plochy domu [4]

### 2.2.3 Koeficient odtoku

Jelikož sběrnou plochou je pro zkoumaný objekt plochá střecha, jejíž krytinou je PVC fólie, je hodnota koeficientu odtoku  $\psi$  pro tuto sběrnou plochu 0,7. [2] Krytina z PVC je oproti krytině z bitumenových pásů vhodnější pro sběr dešťové vody, jelikož na ni neulpívá tolik nečistot, které by voda odplavila do sběrné nádrže.

### 2.2.4 Využitelný objem srážek

Pro samotný výpočet bude použit následující rovnice:

$$V_v = A \times \psi \times H \times 10^{-3} \quad (2.1)$$

$V_v$  [m<sup>3</sup>] – Využitelný objem srážek

$\psi$  [-] – Koeficient odtoku

$H$  [l/m<sup>2</sup>] – Úhrn srážek

$A$  [m<sup>2</sup>] – Obsah plochy střechy

Dosazením do rovnice (2.1) vyjdou hodnoty, které jsou zpracovány do následujících tabulek:

Tab. 2.1: Využitelný objem srážek za rok 2015

2015				
Sběrná plocha [m <sup>2</sup> ]		525		
Měsíc	Úhrn srážek [l/m <sup>2</sup> ]	Roční úhrn srážek [l/m <sup>2</sup> ]	Objem srážek [m <sup>3</sup> ]	Roční objem srážek [m <sup>3</sup> ]
Leden	34	354,6	12,5	166,3
Únor	12		4,4	
březen	36		13,3	
duben	16		5,9	
květen	46,2		17,0	
červen	35,2		12,9	
červenec	43,4		15,9	
Srpen	96,9		35,6	
Září	23,5		8,6	
Říjen	53,6		19,7	
listopad	30,5		11,2	
prosinec	25,3		9,3	

Tab. 2.2: Využitelný objem srážek za rok 2016

2016				
Sběrná plocha [m <sup>2</sup> ]		525		
Měsíc	Úhrn srážek [l/m <sup>2</sup> ]	Roční úhrn srážek [l/m <sup>2</sup> ]	Objem srážek [m <sup>3</sup> ]	Roční objem srážek [m <sup>3</sup> ]
Leden	19,6	562,2	7,2	206,6
Únor	82,1		30,2	
březen	36,7		13,5	
duben	45,8		16,8	
květen	44,1		16,2	
červen	50,1		18,4	
červenec	136,3		50,1	
Srpen	59,5		21,9	
Září	12,3		4,5	
Říjen	33,2		12,2	
listopad	31,5		11,6	
prosinec	11		4,0	



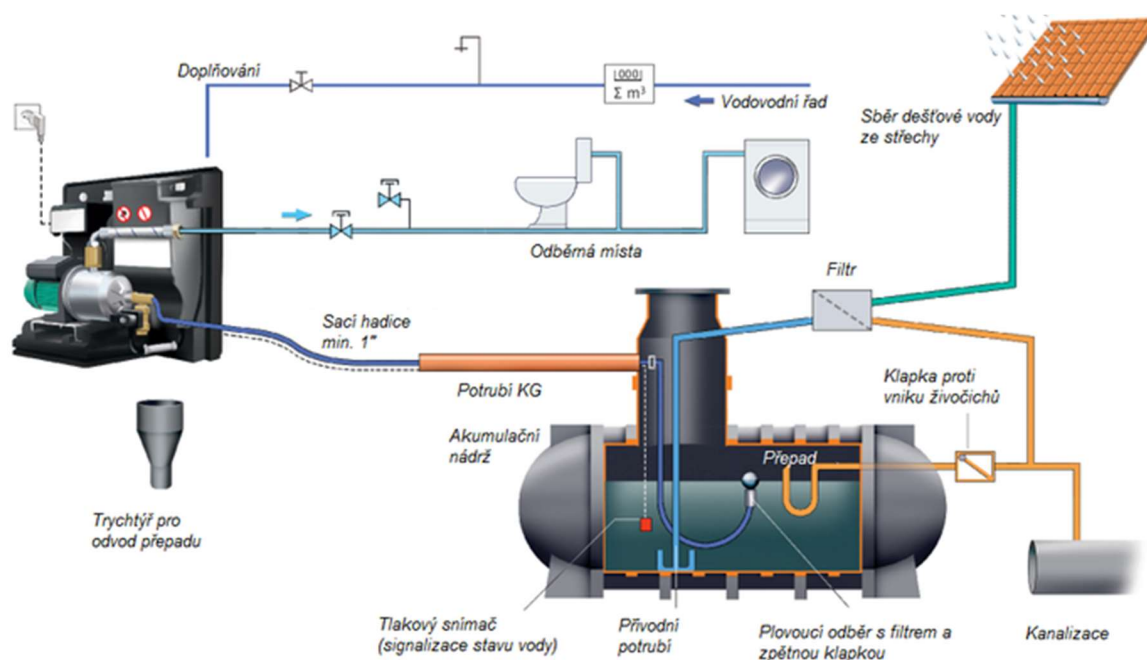
Tab. 2.3: Využitelný objem srážek za rok 2017

2017				
Sběrná plocha [m <sup>2</sup> ]	525			
Měsíc	Úhrn srážek [l/m <sup>2</sup> ]	Roční úhrn srážek [l/m <sup>2</sup> ]	Objem srážek [m <sup>3</sup> ]	Roční objem srážek [m <sup>3</sup> ]
leden	8,3	543,3	3,1	199,7
únor	24		8,8	
březen	24		8,8	
duben	52,2		19,2	
květen	37,7		13,9	
červen	50,7		18,6	
červenec	131,1		48,2	
srpen	36,9		13,6	
září	73,1		26,9	
říjen	57		20,9	
listopad	24,4		9,0	
prosinec	23,9		8,8	

Z tabulek 2.1, 2.2, 2.3 je patrné, že roční zisk srážkové vody je průměrně 200 m<sup>3</sup>. Jednoduchým dělením získáme průměrný denní zisk 0,55 m<sup>3</sup>. Tímto množstvím se pokryje denní spotřeba vody na splachování z 33 %.

## 2.3 Systém akumulace dešťové vody

Jako systém akumulace dešťové vody označujeme veškerá zařízení potřebná pro využití dešťové vody spojená do celku (obr. 2.5). Každé zařízení v takovém systému má svou nenahraditelnou roli a při poškození jakéhokoliv zařízení je funkčnost systému značně omezena. Pro akumulaci dešťové vody je potřeba mít ji kde a v čem skladovat. K tomu slouží akumulární nádrže. Před samotnou nádrží je nutné mít filtraci pro zbavení vody nečistot, které jsou odplaveny ze střechy. V neposlední řadě by součástí systému mělo být zařízení pro doplňování pitné vody do systému v případě nedostatku srážek a čerpadlo pro distribuci vody po objektu.



Obr. 2.5 Schéma systému akumulace dešťové vody [5]

### 2.3.1 Akumulační nádrž

Akumulační nádrže mohou mít různou podobu i umístění. Skladovat dešťovou vodu lze v nádržích uložených v zemi, které mohou být plastové s výztuží, bez výztuže nebo betonové. Výhodou takových nádrží je jejich odstínění od slunečního záření a stálost teploty. Tyto dva faktory jsou stěžejní pro udržení kvality dešťové vody. Další způsob skladování je v nádržích nadzemních přímo určených pro dešťovou vodu, které je nutné umístit na temné místo se stálou teplotou, případně je co nejlépe zaizolovat. Poslední možností jsou nejméně vhodné, avšak nejlevnější, IBC kontejnery. Nevhodné jsou proto, že k tomuto účelu nejsou primárně určeny.

Jelikož je požadováno, aby akumulace nádrž byla umístěna přímo v domě, připadá v úvahu pouze použití nadzemní akumulace nádrže. Tato nádrž musí být umístěna na temném místě s nízkou, nejlépe neměnnou teplotou. Takové podmínky splňuje například nevyužívaná sušárna, nebo kolárna. Při výběru nádrže je však nutné respektovat rozměr zárubní dveří, který u takových prostor bývá 900×1970 mm, a podle toho vybírat nádrž.

V knize Dešťová voda pro zahradu a dům se doporučuje velikost nádrže taková, aby pokryla spotřebu domu na 14÷21 dní. [2] To pro tento objekt činí 23,5÷35,3 m<sup>3</sup>. První problém, na který se narazí při takovém přístupu, je naplnit tak velkou nádrž. Dalším problémem by bylo

ji obstarat a cena takové nádrže by přesahovala přijatelné meze. Její využitelnost by pak vzhledem k spotřebě vody v domě byla naprosto minimální.

Dle kalkulátoru na stránkách firmy Nicoll [6] je doporučená velikost nádrže pro daný objekt a počet osob 15 m<sup>3</sup>. Taková nádrž je stále moc velká a naplnit ji by tedy byl problém.

Přijatelným kompromisem vzhledem k objemu srážkové vody se zdá být velikost nádrže kolem 10 m<sup>3</sup>, která by se úplně naplnila při denním úhrnu srážek 25 l/m<sup>2</sup>. V takové situaci by přebytečná voda otekla přepadem do kanálu. Avšak dny s úhrnem srážek nad 25 l/m<sup>2</sup> se během roku vyskytují minimálně.

Největší překážkou při výběru se zdá být samotné umístění nádrže, jelikož rozměr zárubní omezuje její šířku i výšku. Řešením nejlépe vyhovujícím výše uvedeným požadavkům se zdá být spojení tří 3000l nádrží SL3000SQ od firmy The Tank Factory [7], které se díky svým rozměrům vejdou do dveřních zárubní. Úskalím tohoto řešení je cena, která po přepočtu činí 90 000 Kč a také doprava, jelikož se tyto nádrže vyrábí v Austrálii. Cena nádrže by výrazně klesla při umístění nádrže do země. Takové řešení však u daného objektu není možné.

### 2.3.2 Systém filtrace

Při využívání vody na splachování nebo zalévání zahrady stačí mít filtraci na hrubší nečistoty, aby nedocházelo k zanášení rozvodů vody. Využívá-li se dešťová voda i na praní prádla, je nutné do okruhu zakomponovat filtr, který zachytí i menší nečistoty, jež by jinak mohly zanášet pračku a tím snižovat její životnost, nebo by mohlo docházet k usazování nečistot na prádle. Filtry mohou být zabudované v okapových svodech (okapové filtry, sběrače), nebo umístěné v akumulační nádrži.

Vzhledem k tomu, že je u zkoumaného objektu počítáno s využitím dešťové vody na splachování, použití filtrace na hrubší nečistoty bude dostatečné. Ideálním řešením je filtr AS Purain vhodný pro umístění přímo do akumulační nádrže [8]. Filtr disponuje skimmerem<sup>3</sup>, funguje i jako přepad přebytečné dešťové vody a pracuje s účinností až 98 %. Díky své samočisticí schopnosti je navíc téměř bezúdržbový.

---

<sup>3</sup> Skimmer je hladinový sběrač nečistot. Využívá se především u bazénů.



*Obr. 2.6 Ukázka samočistící funkce filtru AS Purain [8]*

### 2.3.3 Doplnování vody

Během období sucha a slabších srážek, kdy je dešťové vody nedostatek, je potřeba doplňovat do systému vodu pitnou. Na trhu je k dispozici zařízení, které pouze doplňuje pitnou vodu do nádrže, pokud hladina vody v nádrži klesne pod určitou hodnotu nebo zařízení s integrovaným čerpadlem, které vodu do nádrže nedoplňuje, nýbrž při nedostatku dešťové vody přepne na zdroj pitné vody.

Zařízení, které nabízí všechny potřebné funkce za příznivou cenu, vhodné pro zkoumaný objekt, se zdá být sada RainTronic [9]. Tato sada obsahuje zařízení pro doplňování zásobníku dešťové vody RENA (obr. 2.7), které je doplněno o ponorné čerpadlo pro distribuci vody ze zásobníku po objektu. Maximální výtlačná výška čerpadla 48 m je dostačující pro zásobení vodou i nejvyšší patra domu.



*Obr. 2.7 Zařízení pro doplňování zásobníku dešťové vody RENA [9]*

## 2.4 Výhodnost využití dešťové vody

V oddílu 2.2.4 bylo spočítáno, že dešťovou vodou lze nahradit přibližně 33 % spotřeby vody na splachování. To při ceně 75,74 Kč/m<sup>3</sup> a roční spotřebě 613,2 m<sup>3</sup> činí úsporu 15 500 Kč.

Kromě již zmíněné investice 90 000 Kč do nádrže, je nutné připočíst cenu filtračního systému AS Purain, která je přibližně 7 000 Kč a cenu sady RainTronic 15 000 Kč. Nezanedbatelnou částkou jsou potom samotné rozvody dešťové vody po domě.

Návratnost takového zařízení překračuje 10 let. V současné době probíhá v ČR dotační program Dešťovka, ze kterého je možné pro zkoumaný objekt získat dotaci až 65 000 Kč. Nevýhodou programu jsou vyšší nároky na velikost nádrže, která by, dle kalkulačky na webu [10], musela mít 11 m<sup>3</sup>. To by zvedlo náklady na její pořízení o 30 000 Kč. Další nevýhoda je nutnost placení stočného, jehož cena v Brně je 38,66 Kč/m<sup>3</sup> [11]. To zvyšuje roční náklady o 7732 Kč. Společně s vodným rostou i ceny stočného a s tím i roční náklady na provoz takového zařízení.

### 3 Využití solární energie

Solární energii lze využívat aktivně nebo pasivně a lze využívat tepelnou energii nebo ji přímo přeměňovat na elektrickou energii. Aktivní využívání je realizováno pomocí přídavných technických zařízení (termické kolektory, fotovoltaické panely), kdežto pasivního využívání se dosáhne vhodnou konstrukcí budov (orientace oken na jih). [5] Pasivním způsobem se získává pouze tepelná energie slunečního záření. Dále bude popsána pouze přímá přeměna na elektrickou energii a její využití ve zkoumaném objektu.

#### 3.1 Princip Fotovoltaických článků

Fotovoltaické články jsou nejčastěji vyrobeny z nejběžnějšího polovodičového materiálu – křemíku. Křemík se využívá především proto, že může využít fotony, jejichž energie je větší než 1,1 eV ( $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ ). Tato energie představuje rozdíl energie mezi valenčním a vodivostním pásem. Jednoduchým výpočtem<sup>4</sup> zjistíme, že vlnová délka takového fotonu musí být menší než 1120 nm. Vlnová délka slunečního záření procházejícího atmosférou nabývá hodnot  $2480 \div 430 \text{ nm}$ . [12]

Horní vrstva článku obsahuje křemík typu N<sup>5</sup>, kdežto ve spodní části je křemík typu P<sup>6</sup>. Na pomezí těchto dvou typů je v malé hloubce pod povrchem vytvořen PN přechod. Samotný fotovoltaický článek je vlastně velkoplošná dioda<sup>7</sup>. [12]

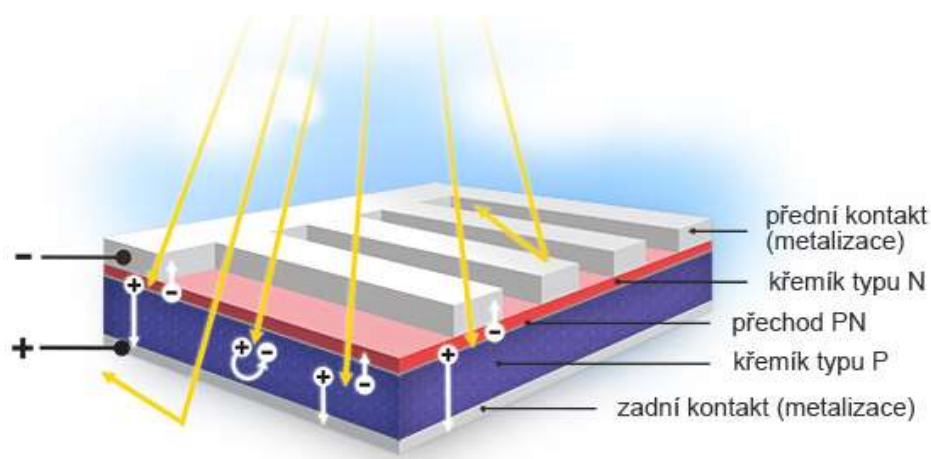
---

<sup>4</sup> Z rovnice pro výpočet energie fotonu  $E = hc\lambda^{-1}$ , kde  $h$  je Planckova konstanta ( $6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ),  $c$  je rychlost fotonu ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )

<sup>5</sup> Křemík, jehož dominantním nosičem náboje jsou díry (nosiče kladného náboje). Vzniká dopováním křemíku 5mocným prvkem – např. fosforem.

<sup>6</sup> Křemík, jehož dominantním nosičem náboje jsou volné elektrony (nosiče záporného náboje). Vzniká dopováním křemíku 3mocným prvkem – např. borem.

<sup>7</sup> Dioda je polovodičový prvek s jedním PN přechodem, který propouští proud pouze v jednom směru.



Obr. 3.1 Princip fotovoltaického článku [13]

Při dopadu slunečního záření na fotovoltaický článek se generují volné elektrony a díry. Tyto jsou oddělovány elektrickým polem PN přechodu. Díry jsou unášeny do vrstvy typu P, která se tím stane kladným pólem. Vrstva typu N se stane záporným pólem fotovoltaického článku, jelikož jsou do ní unášeny volné elektrony (obr. 3.1). Napětí jednoho křemíkového článku je přibližně 0,6 V a při zátěži ještě mírně klesá. [12]

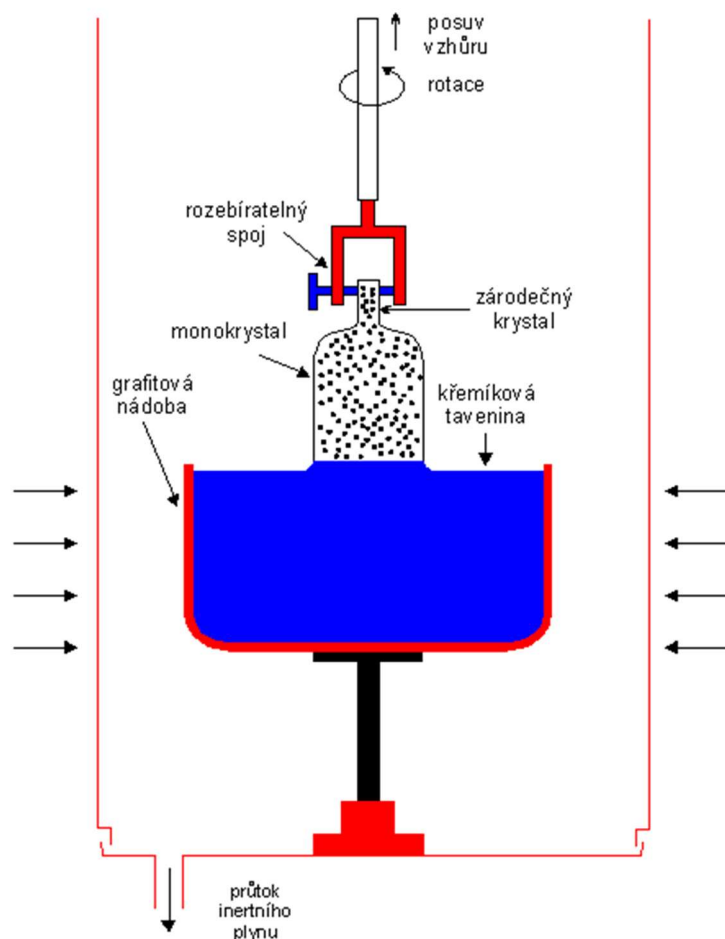
Fotovoltaické články mají velmi citlivou strukturu a požaduje-li se, aby byly funkční několik let, musí být chráněny proti znečištění a mechanickým poškozením. Kvůli nízkému napětí jednotlivých článků se články spojují do série pro získání prakticky využitelného napětí. Tato série (panel) čítá nejčastěji 36 nebo 72 článků. Panel je zasazen v hliníkovém rámu a svrchu chráněn kaleným sklem, které by mělo mít nízký obsah železa pro vyšší propustnost světla v infračervené oblasti spektra. Důležitá je antireflexní vrstva pro snížení ztrát odrazem. Panel je vakuově laminován kvůli těsnosti modulu. Zadní část tvoří fólie. U ohebných článků se místo skla používá plastová fólie. [12]

### 3.2 Typy křemíkových fotovoltaických článků

Jak již bylo uvedeno, většina fotovoltaických článků se vyrábí z křemíku. Čistota křemíku pro tyto články nemusí být tak vysoká, jako čistota křemíku pro elektroniku (ten obsahuje  $>10^{-7}$  % nečistot), a pohybuje se mezi 98÷99 %. Křemíkové články dělíme podle toho, jaký křemík obsahují, na články z monokrystalického, polykrystalického a amorfního křemíku. V dnešní době se používají všechny tři druhy. Výhody jednotlivých druhů budou popsány níže.

### 3.2.1 Články z monokrystalického křemíku

Jedná se o nejstarší typ fotovoltaických článků, kde rozměr krystalů křemíku je v řádu 10 cm. Vyrábí se nařezáním ingotů křemíku na tenké plátky. Tyto ingoty se získávají zpravidla Czochralského metodou (obr. 3.2). Tento způsob výroby je energeticky i technologicky, a tedy i finančně náročný. Náhradní metodou je tažení tenkého plátku přímo z taveniny. Nařezání na články je u takového způsobu výroby mnohem jednodušší. [12]



Obr. 3.2 Princip Czochralského metody [14]

Výhodou monokrystalických článků je jejich účinnost. Ta je v porovnání se zbylými druhy křemíkových článků nejvyšší, pohybuje se kolem 14 %. Nedokážou však tak dobře využít difusní záření<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Difusní (nepřímé) záření vzniká rozptylem přímého záření v mracích a na částicích v atmosféře. Toto záření přichází ze všech směrů a nelze jej, na rozdíl od přímého záření, koncentrovat.



### 3.2.2 Články z polykrystalického křemíku

Tento typ článků je dnes nejběžnější a vyrábí se odléváním křemíku do forem. Takto vzniklé ingoty se následně nařezou na tenké plátky.

Nevýhodou článků z polykrystalického křemíku jsou jejich horší elektrické vlastnosti, které jsou způsobeny větším odporem na styku jednotlivých krystalových zrn. Oproti článkům z monokrystalického křemíku mají celkově nižší účinnost (13 %), hůře využívají přímé záření. Jejich výhodou je nižší cena a možnost vyrábět články větších rozměrů.

### 3.2.3 Články z amorfního křemíku

Tyto články jsou vyráběny rozkladem vhodných sloučenin křemíku (např. silanu) ve vodíkové atmosféře a následným nanášením křemíku z těchto sloučenin na podložku. Tato podložka může být skleněná, nerezová, nebo polyamidová. Vrstva takto naneseného křemíku může být díky větší absorpci slunečního záření velmi tenká (<1 mm).

Výhodou článků vyrobených z amorfního křemíku je flexibilita způsobená menší tloušťkou vrstvy křemíku, zhotovují se z nich například krycí fólie na střechy. Další nespornou výhodou je nízká spotřeba materiálu, tedy nižší výrobní cena a oproti článkům z krystalického křemíku lépe využívají difusní záření. Nevýhodou je nízká účinnost, která je v porovnání s krystalickým křemíkem přibližně poloviční (kolem 7 %). Tyto články jsou také značně nestabilní. To je způsobeno přítomností vodíku ve struktuře. Výkon článků tedy prvně zpočátku klesá, dokud se neustálí na přibližně 80 % původní hodnoty. [12]

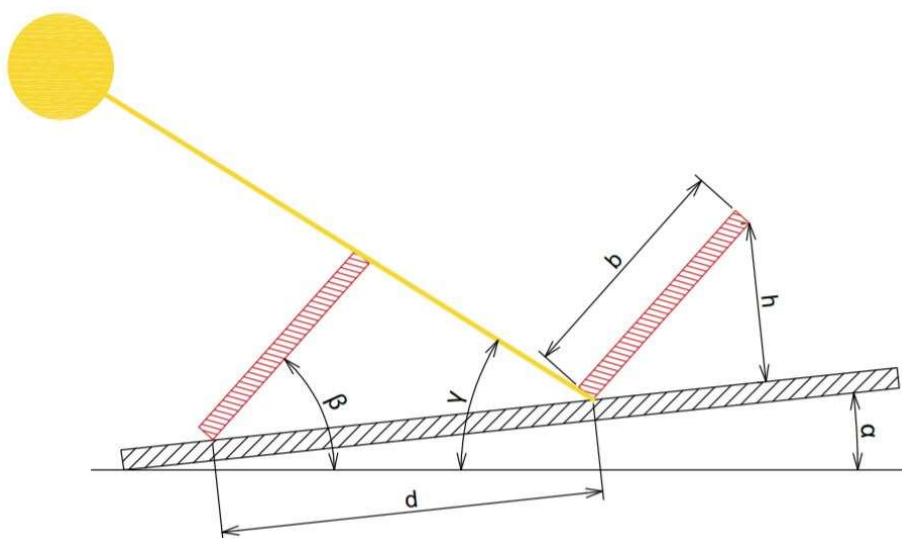
## 3.3 Umístění fotovoltaických panelů

Fotovoltaické (PV) panely je potřeba umístit tak, aby produkce elektrické energie byla co nejvyšší. Toho lze dosáhnout umístěním na nestíněné místo pod ideálním úhel (v místních podmínkách kolem 35°) a natočením na jižní stranu. Při montáži panelů na volný vodorovný povrch není, na rozdíl od montáže na zeď budovy, dosažení takových podmínek náročné.

U zkoumaného objektu je možné při rekonstrukci nahradit balkonové zábradlí PV panely. Orientace balkonů, kterých je 8 v každém vchodu, je 160° od severu, a tedy téměř ideální. Rozměry využitelné plochy jsou v tomto případě 4150×1130 mm. Je možné instalovat dva panely Sunny Poly 320 W<sub>p</sub> od výrobce GWL/Power, jehož rozměry jsou 1956×992×45 mm [15]

(94,3% využití šířky a 88% využití výšky plochy). Celkový instalovaný výkon na jednom balkonu činí 640 W<sub>p</sub> (5,12 kW<sub>p</sub> na vchod; 10,24 kW<sub>p</sub> na celý objekt)

Další možností je využití plochy střechy. V tomto případě budou porovnány dvě možnosti – umístění panelů, které by zároveň tvořily krytinu ploché střechy, Evalon V-Solar 272 z amorfního křemíku a instalace klasických PV panelů z krystalického křemíku, které budou nakloněné pod optimálním úhlem a optimálně orientované. Obsah plochy střechy je 525 m<sup>2</sup> a dle výrobce Evalon [16] je potřeba 20,74 m<sup>2</sup> plochy na instalaci 1 kW<sub>p</sub> výkonu. Jednoduchým výpočtem lze dopočítat celkový možný instalovaný výkon 25 kW<sub>p</sub>. V případě instalace panelů z krystalického křemíku je nutné vypočítat vzdálenost  $d$  řad panelů, která by měla být taková, aby nedocházelo k zastínění panelů těmi v řadě před nimi.



Obr. 3.3 Schéma situace pro výpočet vzdálenosti panelů  $d$  [5] - upraveno

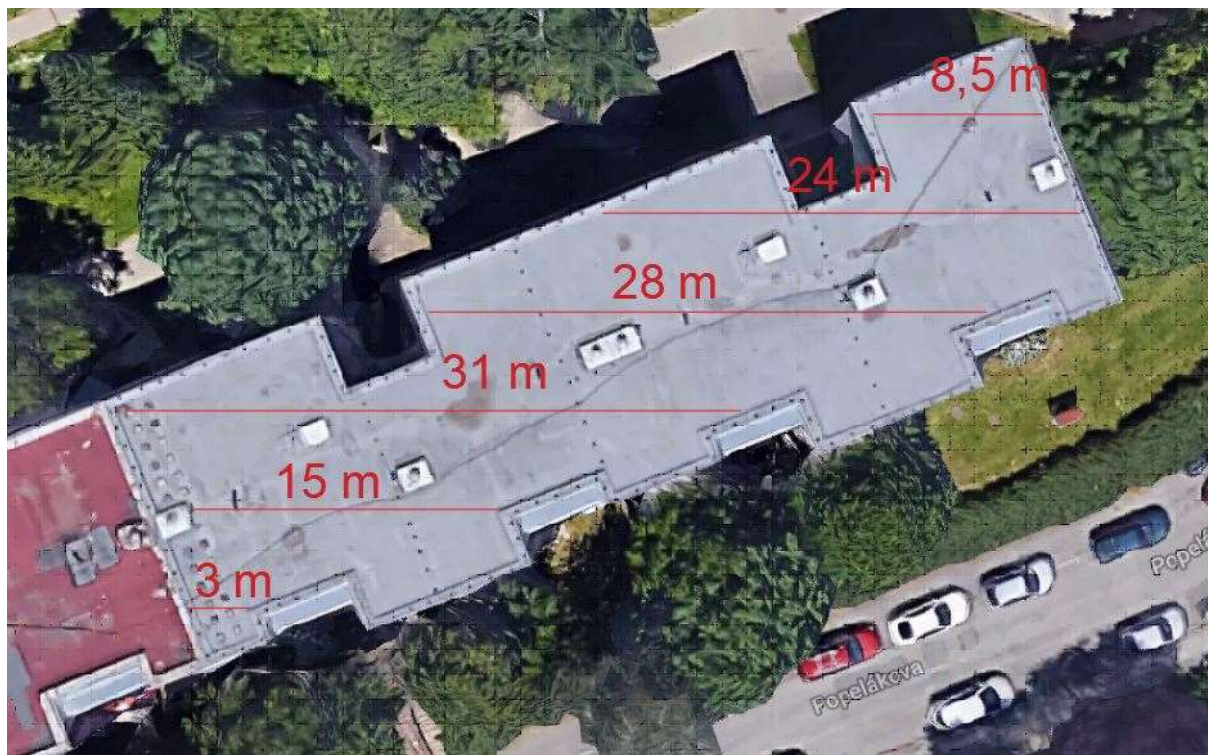
Panel výšky  $b$ , kterou udává výrobce (2 m), je nakloněn o úhel  $\beta$  vůči zemskému povrchu. Sklon střechy  $\alpha$  je u ploché střechy nulový. Sluneční záření dopadá na zemský povrch pod úhlem  $\gamma$  (hodnota 20° je určena pro zimní období, kdy je nejnižší a dochází tedy k největšímu stínění panelů [5]). Vzdálenost řad panelů  $d$  se vypočítá z rovnice:

$$d = b \times \left( \cos(\beta - \alpha) + \frac{\sin(\beta)}{\tan(\gamma)} \right) \text{ [m]} \quad (3.1)$$

$$d = 4,8 \text{ m}$$

Z následujícího obrázku je určen počet panelů, které lze při vypočítané vzdálenosti mezi jednotlivými řadami umístit na střechu při jejich orientaci na jih. Délky jednotlivých řad jsou

vyděleny šířkou panelu 1 m a zaokrouhleny na nejbližší nižší celé číslo. Na střechu objektu je možné instalovat 109 panelů Sunny Poly 320 W<sub>p</sub> o celkovém výkonu 34,88 kW<sub>p</sub>, které budou v řadách tak, jak je znázorněno na Obr. 3.4.

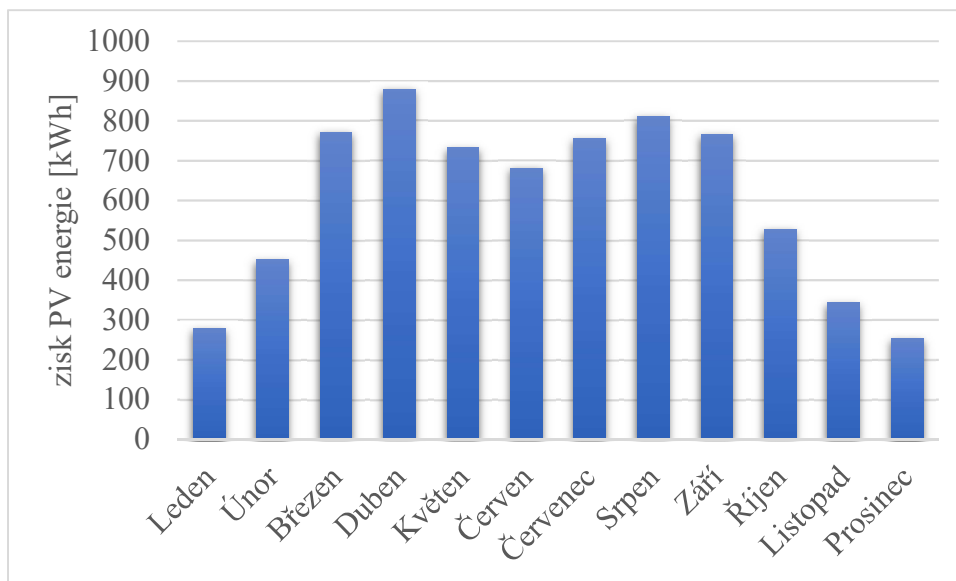


Obr. 3.4 Rozměry pro umístění PV panelů na střechu [17] - upraveno

### 3.4 Zisk elektrické energie

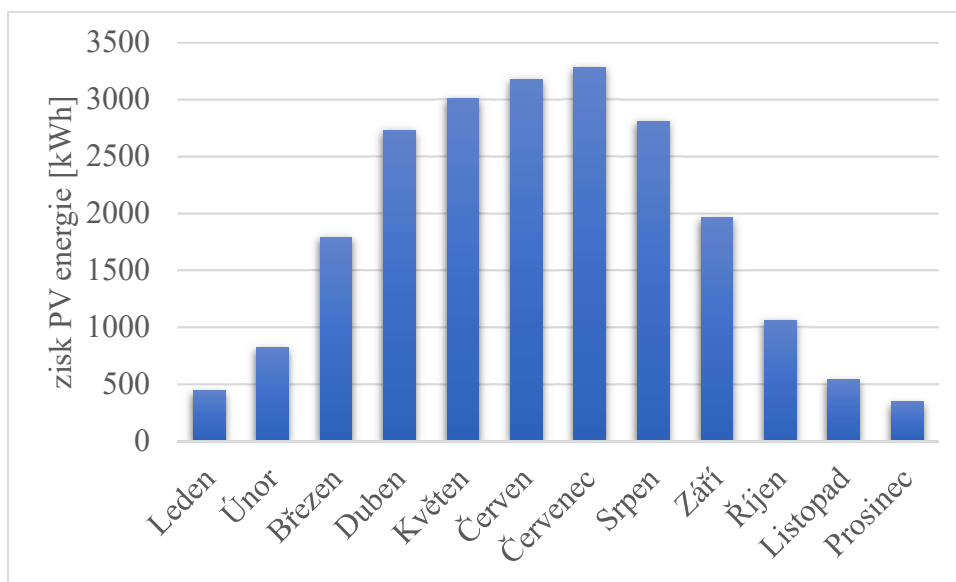
Pro výpočet zisku elektrické energie bude využita online kalkulačka na stránkách Fotovoltaického geografického informačního systému Evropské komise. [18] Postupně budou vypočítány všechny tři návrhy instalace PV panelů.

Pro instalaci PV panelů o výkonu 640 W<sub>p</sub> na balkon vychází celkový roční zisk 453,125 kWh, tedy 7,25 MWh/rok na celý objekt. Pokud by se v rámci zvýšení zisku elektrické energie přistoupilo k naklonění panelů tak, aby se zemským povrchem svíraly úhel 87° místo 90°, stoupl by roční zisk o 4,7 % na 7,59 MWh. Další naklonění by vyústilo ve vyšší zisk, ale je potřeba mít na vědomí, že u této instalace se počítá s integrací PV panelů do balkonového zábradlí, musí tedy plnit i tuto funkci, která by dalším nakloněním nebyla zaručena.



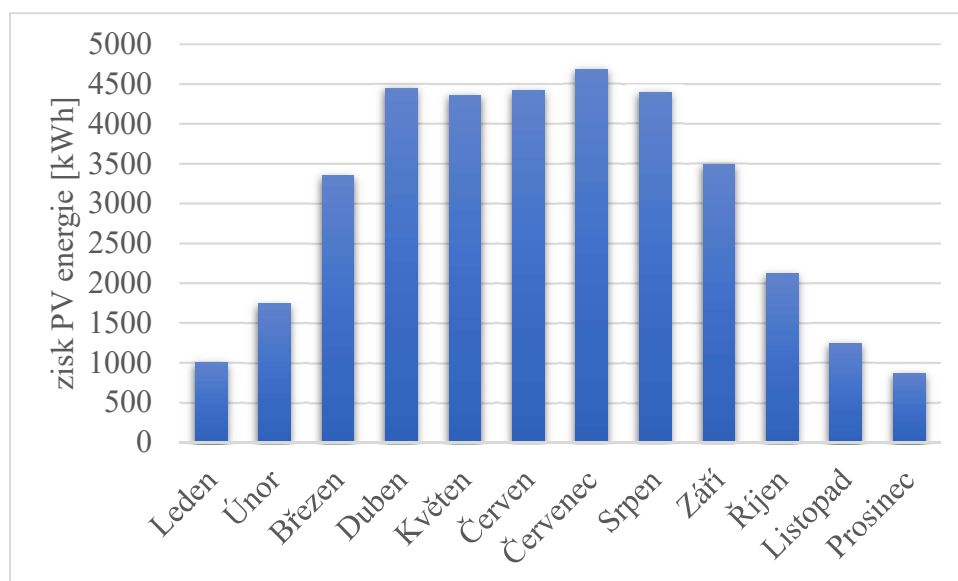
Obr. 3.5 Celkový měsíční zisk el. energie z PV panelů umístěných na balkonech ( $\beta=90^\circ$ )

Při využití panelů Evalon V-solar 272 jako střešní krytiny, tedy instalace 25 W<sub>p</sub> výkonu, vychází roční zisk z celé plochy střechy 22 MWh. Možnost zvýšit toto číslo není, jelikož zvětšit plochu střechy není možné. V úvahu by připadala přestavba střechy z ploché na sedlovou. Toto řešení by nebylo ekonomicky výhodné.



Obr. 3.6 Celkový měsíční zisk el. energie z panelů Evalon V-solar umístěných na střeše domu ( $\beta=0^\circ$ )

Posledním zkoumaným způsobem umístění PV panelů je jejich volné postavení na střeše pod úhlem sklonu 35° orientovaných na jih. V předchozí podkapitole bylo zjištěno, že tímto způsobem je možné nainstalovat panely o výkonu 34,88 kW<sub>p</sub>. Z nich je možné ročně získat celkovou elektrickou energii 36,1 MWh.



Obr. 3.7 Celkový měsíční zisk el. energie z PV panelů umístěných na střeše domu ( $\beta=35^\circ$ )

Tab. 3.1 Zisk energie jednotlivých umístění PV panelů

Umístění PV Panelu	Zisk elektrické energie [MWh]
PV panely umístěné na balkonech	7,25
Panely Evalon V-solar nahrazující	22
PV panely umístěné na střeše	36,1

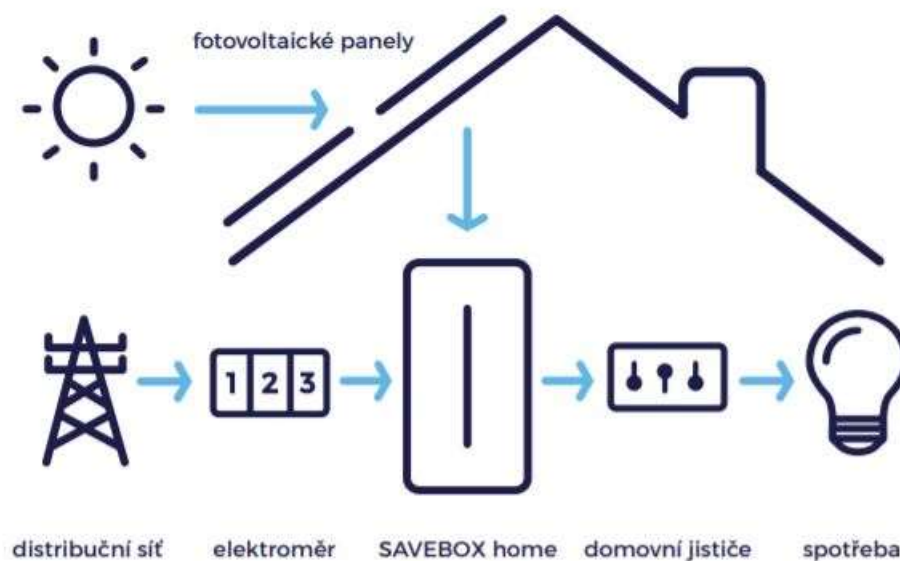
Z tabulky je vidět, že produkce elektrické energie panely z amorfního křemíku je nižší oproti panelům z polykrystalického křemíku. Ačkoliv je výroba článků z amorfního křemíku nejlevnější, samotné panely se na trhu prodávají za cenu blízkou ceně panelů s články z polykrystalického křemíku. Jejich použití tedy není tak vhodné. V ideálním případě (instalace panelů z polykrystalického křemíku na balkony a střechu) je možné získat ročně 43,35 MWh elektrické energie.

### 3.5 Možnosti využití elektrické energie

V předchozí podkapitole bylo zjištěno, kolik elektrické energie je možné získat. Problém s takto získanou energií je její kolísání v průběhu roku (jak je vidět na obr. 3.5, obr. 3.6, obr. 3.7) i v průběhu jednotlivých dní.

Ve zkoumaném objektu by ji bylo možné využít na pokrytí spotřeby společných prostor (např. svícení), která činí průměrně 1,92 MWh/rok. Bylo by však potřeba tuto energii skladovat, jelikož svítit je potřeba především ve večerních a nočních hodinách, kdy PV panely elektrickou

energii neprodukují. K tomu by šlo využít například zařízení SAVEBOX home od výrobce Fit-Craft Energy. [19] Toto zařízení obsahuje akumulátor o kapacitě 4,5/7,5 kWh a je připojen i na distribuční síť, ze které bere elektrickou energii v případě potřeby. Funkce zařízení je znázorněna na obr. 3.8.



Obr. 3.8 Schéma funkce zařízení SAVEBOX home [19]

Další možností je využití na přípravu TV, která je v současné době odebírána od společnosti Teplárny Brno. Elektrická energie získaná z PV panelů by měla pokrýt teplo potřebné na ohřátí vody<sup>9</sup> o objemu  $V$  (2,3 m<sup>3</sup>), hustotě  $\rho$  (1000 kg/m<sup>3</sup>) a měrné tepelné kapacitě  $C_{H_2O}$  (4180 J/kgK) na teplotu 55 °C a vykompenzovat ztráty  $z$ <sup>10</sup> dle rovnice:

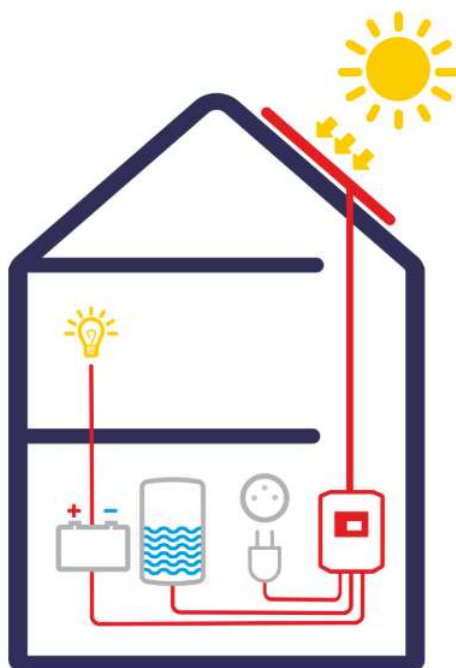
$$Q = (1 + z)(V\rho c_{H_2O}\Delta t) \times \frac{1}{3,6} [\text{kWh}] \quad (3.2)$$

<sup>9</sup> Počítá se s teplotou pitné vody ve vodovodu 10 °C

<sup>10</sup> Ztráty  $z$  nabývají hodnoty 0,5÷1, po domluvě s vedoucím práce zvolena hodnota 0,8



Průměrná denní spotřeba TV<sup>11</sup> činí 2,3 m<sup>3</sup> na celý objekt. Energie potřebná na ohřátí takového objemu vody je 216 kWh. Průměrný denní zisk elektrické energie z PV panelů v červenci, kdy je zisk nejvyšší, je 176 kWh a stačilo by tedy z distribuční sítě dodat 40 kWh. Naopak v prosinci, kdy PV panely vyrobí energie nejméně, je denní zisk 38 kWh a bylo by tedy potřeba dodat z distribuční sítě 178 kWh. Na trhu existuje zařízení SOLAR KERBEROS, které ohřívá vodu elektrickou energií z PV panelů a v případě potřeby odebírá energii ze sítě. Verze 6000.B takového zařízení má doporučený objem bojleru 200÷1000 l. To je přibližně denní spotřeba TV pro jeden vchod, při instalaci dvou takových zařízení by byla pokryta spotřeba TV v objektu. Tato verze však nedisponuje zálohováním ohřevu sítí, muselo by se tedy přistoupit k instalaci nižší verze, např. 315.C, která navíc disponuje ještě akumulátorem pro využití na svícení, do každé bytové jednotky. Tato verze má doporučený objem bojleru 100÷160 l, tedy dostačující pro pokrytí denní spotřeby vody jedné bytové jednotky. Distribuce elektrické energie by v takovém případě byla náročná, jelikož by se ke každé jednotce musel připojit PV panel, který má daná bytová jednotka instalovaný na balkoně, společně se 4 dalšími umístěnými na střeše objektu.



Obr. 3.9 Princip funkce systému SOLAR KERBEROS 315.C [20]

<sup>11</sup> Předpokládá se ideální případ, kdy se spotřeba TV během roku nemění. Reálně je však vyšší v zimě a nižší v létě.

Jak z obr. 3.5, obr. 3.6, obr. 3.7 vyplývá, nejvíce elektrické energie se vyrobí v létě, kdy je navíc spotřeba TV obecně nižší. Přebytečná energie by se tak mohla použít například na centrální chlazení domu, které by se v domě zřídilo.

### 3.6 Výhodnost využití solární energie

V podkapitole 3.4 bylo spočítáno, že ročně lze vyrobit 43,35 MWh elektrické energie. Při současných cenách 1500 Kč/MWh [21] činí úspora přibližně 65 000 Kč/rok. Cena jednoho PV panelu Sunny Poly 320 W<sub>p</sub>, kterých se na objekt nainstaluje 141, je 4 100 Kč [15], celková investice do PV panelů je 578 000 Kč. Cena systému SOLAR KERBEROS 6000.B se pohybuje v rozmezí 30 000 ÷ 50 000 Kč, model 315.C stojí 20 000 Kč. Při instalaci modelu 315.C do každé bytové jednotky, by cena celého systému vzrostla o 520 000 Kč. Návratnost investice se tedy pohybuje kolem 20 let. Životnost PV panelů je minimálně 30 let, v ideálním případě může být až dvojnásobná. Jejich účinnost se však bude postupem času snižovat. [5]



## Závěr

Cílem této práce bylo zjistit množství využitelné dešťové vody a také způsob jejího využití v konkrétním panelovém domě. Zároveň bylo úkolem najít dostupná řešení pro výrobu elektrické energie z energie solární a její uplatnění v tomto panelovém domě.

Bylo zjištěno, že ročně se dá využít přibližně 200 m<sup>3</sup> srážkových vod a při jejich využití na splachování toalet v domě tak nahradit třetinu celkové spotřeby pitné vody na splachování. V současné době se již na trhu pohybuje mnoho firem nabízejících řešení pro využití a zpracování dešťové vody a nebyl tedy problém z dostupných zařízení navrhnout systém akumulace dešťové vody. Největším problémem u tohoto systému se zdá být volba umístění akumulční nádrže a s tím spjaté přísné požadavky na její umístění. Nádrž by se musela nechat vyrobit na zakázku, nebo dovézt ze zahraničí. Bylo uvedeno, že v současné době probíhá v České republice dotační program Dešťovka. I při započítání dotace z tohoto programu je návratnost takového řešení delší než 10 let. Je to způsobeno tím, že srážkových vod není dostatek a nedokážou pokrýt spotřebu vody na splachování ani z poloviny. Větší úspory by se dalo dosáhnout využitím šedých vod (tedy bez splaškových komunálních vod odtékajících z umyvadel, sprch, myček nádobí, praček atd.), kterých se v panelovém domě produkuje dostatek. Ty by již dokázaly pokrýt spotřebu vody na splachování z větší části, nebo dokonce pitnou vodu využívanou na splachování úplně nahradit. Vzhledem k původu šedé vody se jedná převážně o vodu o vyšší teplotě. Při jejím dalším využití by jí bylo možné odebrat část tepla a využít ho například na ohřev teplé vody.

Dále byla posuzována možnost PV panelů, kdy bylo zjištěno, že tímto způsobem lze vyrobit až 43,35 MWh elektrické energie ročně. Tato hodnota vysoce převyšuje roční spotřebu energie ze společných prostor domu, která je 2 MWh. Jako další využití takto vyrobené energie byl navržen ohřev teplé vody pomocí systému SOLAR KERBEROS. Elektrické energie z PV panelů není však dostatek pro ohřev vody potřebné pro celý dům a musela by se využívat část energie ze sítě. Návratnost investice, převyšující 1 mil. Kč, se pohybuje kolem 20 let. Postupem času dochází ke snižování účinnosti PV panelů a tím by se prodlužovala doba návratnosti.

Práce ukázala možnosti úspor při provozu panelového domu. Bohužel, investiční náklady na realizaci těchto opatření jsou značné. To při současných podmínkách posouvá návratnost vynaložených prostředků na hranici technické životnosti uvažovaných zařízení a technologií.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] *Mapy.cz* [online]. b.r. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [2] BÖSE, Karl-Heinz. *Dešťová voda pro dům a zahradu*. 1. čes. vyd. Ostrava: HEL, 1999. ISBN 80-861-6708-9.
- [3] *Portál ČHMÚ: Historická data: Počasí: Územní srážky* [online]. b.r. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>
- [4] *Nahlížení do katastru nemovitostí* [online]. b.r. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://nahliznidokn.cuzk.cz/>
- [5] *Tzbinfo* [online]. b.r. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://tzb-info.cz/>
- [6] *Nicoll Česká republika* [online]. b.r. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www.nicoll.cz>
- [7] *The Water Tank Factory* [online]. b.r. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://www.watertankfactory.com.au>
- [8] *Čistírny odpadních vod* [online]. b.r. [cit. 2018-05-9]. Dostupné z: <http://www.asio.cz>
- [9] *Čerpadla Remont* [online]. b.r. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://obchod.remont-cerpadla.cz>
- [10] *Dotace Dešťovka* [online]. b.r. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.dotacede-stovka.cz/>
- [11] *Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.* [online]. b.r. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/>
- [12] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika: elektřina ze slunce*. 2. vyd. Praha: EkoWATT, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [13] *Solaratec HOLDING* [online]. b.r. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.solar-tec.cz/>

- [14] *Fyzikální sekce Matematicko-fyzikální fakulty UK* [online]. b.r. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://physics.mff.cuni.cz/>
- [15] *I4wifi* [online]. b.r. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/>
- [16] *IZOLACE A PROJEKTY STAVEB, Libochovice* [online]. b.r. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.izolace.com>
- [17] *Mapy Google* [online]. b.r. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>
- [18] *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)* - European Commission [online]. b.r. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu>
- [19] *FitCraft Energy* [online]. b.r. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://fitcraftenergy.cz/>
- [20] *SOLAR KERBEROS - solární ohřev vody* [online]. b.r. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://solar-kerberos.cz/>
- [21] *Skupina ČEZ* [online]. 2018 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/>

## Seznam použitých symbolů

Značka veličiny	Jednotka	Název veličiny
$V_v$	$[m^3]$	Využitelný objem srážek
$H$	$[l/m^2]$	Úhrn srážek
$\psi$	$[-]$	Koeficient odtoku
$A$	$[m^2]$	Obsah sběrné plochy
$E$	$[J]$	Kinetická energie fotonu
$h$	$[Js]$	Planckova konstanta
$c$	$[m/s]$	Rychlost fotonu
$\lambda$	$[nm]$	Vlnová délka
$b$	$[m]$	Výška PV panelu
$\beta$	$[^\circ]$	Úhel sklonu PV panelu
$\alpha$	$[^\circ]$	Úhel sklonu střechy
$\gamma$	$[^\circ]$	Úhel dopadu slunečního záření
$d$	$[m]$	Vzdálenost PV panelů
$V$	$[m^3]$	Objem
$z$	$[-]$	Ztráty
$\rho$	$[kg/m^3]$	Hustota
$C_{H_2O}$	$[J/kgK]$	Měrná tepelná kapacita vody
$Q$	$[J]$	Teplo

## Seznam zkratk

TV	Teplá voda
IBC	Intermediate bulk container – Kontejner středního objemu
PV	Photovoltaic – Fotovoltaický